

目 录

第 1 章 量子计量学理论基础	1
1.1 简介	1
1.2 薛定谔方程和泡利不相容原理	2
1.3 海森堡不确定性原理	4
1.4 测量分辨力极限	6
参考文献	8
第 2 章 度量、标准和单位制	9
2.1 计量体系的历史	9
2.2 1960 年的国际单位制 (SI)	12
2.3 长度的计量和标准	14
2.4 质量的计量和标准	17
2.5 时钟和时间的计量	19
2.6 温标	23
2.7 电学量的标准	27
参考文献	30
第 3 章 新的单位制——2018 年的国际单位制	31
3.1 向新单位制发展	31
3.2 用于 SI 的基本物理常数	33
3.3 千克、安培、开尔文和摩尔的新定义提案	35
3.3.1 千克的新定义提案	35
3.3.2 安培的新定义提案	36
3.3.3 开尔文的新定义提案	37
3.3.4 摩尔的新定义提案	38
3.4 2018 年的 SI	39
3.4.1 定义	39
3.4.2 单位	40
3.4.3 有关 2018 年 SI 的讨论	42

3.5 在 SI 中安培和其他电学单位定义的实际复现	44
3.5.1 简介	44
3.5.2 安培的实际复现	44
3.5.3 SI 电学导出单位的实际复现	45
3.5.4 磁导率 μ_0 及相关量	47
3.6 SI 千克定义的实际复现	47
3.6.1 千克的定义	47
3.6.2 通过比较电功率和机械功率来实际复现千克	48
3.6.3 用 X 射线单晶硅密度法实际复现千克	49
3.7 SI 开尔文定义的实际复现	50
3.7.1 开尔文的定义	50
3.7.2 通过原级测温实际复现开尔文	51
3.7.3 声学气体测温	52
3.7.4 辐射测温 (1 235 K 及以上)	52
3.7.5 极化气体测温	52
3.8 SI 摩尔定义的实际复现	54
3.8.1 摩尔的定义	54
3.8.2 以最小不确定度实际复现摩尔定义	55
3.9 量子计量三角形和金字塔	57
参考文献	62
第 4 章 量子电压标准	64
4.1 超导	64
4.1.1 超导材料	64
4.1.2 超导理论	66
4.1.3 超导体的特性	66
4.2 约瑟夫森效应	68
4.3 约瑟夫森结	71
4.4 电压标准	74
4.4.1 基于惠斯顿电池的电压标准	74
4.4.2 直流电压约瑟夫森标准	75
4.4.3 交流电压约瑟夫森标准	77
4.4.4 华沙中央计量局 (GUM) 的电压标准	80
4.4.5 GUM 标准和 BIPM 标准的比对	82
4.4.6 精密比较仪电路	83

4.5 超导数字电路	84
4.5.1 半导体数字电路的未来发展	84
4.5.2 具有约瑟夫森结的数字电路	84
4.6 约瑟夫森结的其他应用	87
4.6.1 压频转换器	87
4.6.2 太赫兹辐射源	88
参考文献	89
第5章 SQUID 磁通检测器	91
5.1 磁通的量子化	91
5.2 RF-SQUID	94
5.2.1 RF-SQUID 等式	94
5.2.2 RF-SQUID 测量系统	95
5.3 DC-SQUID	97
5.3.1 DC-SQUID 等式	97
5.3.2 DC-SQUID 的能量分辨力和噪声	102
5.3.3 DC-SQUID 的参数	104
5.4 DC-SQUID 测量系统	105
5.4.1 测量系统的运行	105
5.4.2 输入回路	106
5.4.3 双 SQUID 测量系统	108
5.4.4 附加正反馈的 SQUID 测量系统	109
5.4.5 数字 SQUID 测量系统	110
5.5 纳米 SQUID	111
5.5.1 磁信号和干扰	113
5.5.2 生物磁研究	114
5.5.3 材料的无损检测	117
5.6 SQUID 噪声测温	118
5.6.1 R-SQUID 噪声温度计	118
5.6.2 DC-SQUID 噪声温度计	121
5.6.3 SQUID 的其他应用	122
参考文献	124
第6章 量子霍尔效应和电阻基准	127
6.1 霍尔效应	127
6.2 量子霍尔效应	128

6.2.1 二维电子气电子器件	128
6.2.2 量子霍尔效应的物理基础	129
6.2.3 QHE 样品	131
6.2.4 石墨烯中的量子霍尔效应	133
6.3 华沙中央计量局 (GUM) 的传统电阻标准的测量装置	134
6.4 量子标准测量系统	138
6.5 SI 电阻的量子标准	140
参考文献	142
第 7 章 纳米结构中电导和热导的量子化	143
7.1 电导理论	143
7.2 宏观和纳米尺度结构	146
7.3 纳米结构电导量子化的研究	148
7.3.1 纳米结构的形成	148
7.3.2 动态形成纳米线的测量	149
7.4 用电导量子化测量纳米结构的几何尺寸	151
7.4.1 方法	151
7.4.2 技术条件	151
7.5 纳米结构热导量子化	152
7.6 纳米结构电导量子化对科技的影响	153
参考文献	156
第 8 章 单电子隧穿	158
8.1 电子隧穿	158
8.1.1 隧穿现象	158
8.1.2 单电子隧穿理论	159
8.2 SET 结电子电路	160
8.2.1 SETT 晶体管	160
8.2.2 电子泵和旋转栅器件	161
8.3 利用电子泵的量子电流标准	163
8.4 基于电子计数的电容标准	164
8.5 库伦阻塞温度计	165
参考文献	168
第 9 章 原子钟和时间尺度	169
9.1 理论原理	169
9.1.1 简介	169

9.1.2 艾伦方差	171
9.1.3 原子标准的结构和类型	173
9.2 铯原子频率标准	174
9.2.1 铯束频率标准	174
9.2.2 铯喷泉频率标准	177
9.3 氢脉泽和铷频率标准	178
9.3.1 氢脉泽频率标准	178
9.3.2 铷频率标准	180
9.3.3 原子频标参数	181
9.4 光学辐射频率标准	181
9.4.1 光学辐射源	181
9.4.2 光学频率梳	183
9.5 时间尺度	185
9.6 波兰国家时间和频率标准	187
参考文献	189
第 10 章 长度标准和测量	190
10.1 简介	190
10.2 米定义的复现	191
10.2.1 CIPM 建议的米的复现	191
10.2.2 CIPM 建议的长度测量	194
10.3 碘稳频 633 nm 氦氖激光器	196
参考文献	199
第 11 章 卫星导航系统	200
11.1 简介	200
11.2 全球定位系统 (GPS)	202
11.3 GLONASS 与北斗卫星导航系统	204
11.3.1 GLONASS 卫星导航系统	204
11.3.2 北斗卫星导航系统	205
11.4 伽利略卫星导航系统	206
11.5 区域卫星导航系统: 印度 NAVIC 和日本 QZSS	207
11.6 定位精度	208
11.7 导航卫星系统的应用	211
11.7.1 导航	211
11.7.2 定位	212

11.7.3 授时	214
11.7.4 搜索与救援	215
参考文献	216
第 12 章 扫描探针显微镜	217
12.1 原子分辨显微镜	217
12.1.1 扫描探针显微镜的工作原理	217
12.1.2 SPM 近场相互作用的类型	218
12.1.3 SPM 基本参数	218
12.2 扫描隧道显微镜	219
12.3 原子力显微镜	222
12.3.1 原子力	222
12.3.2 原子力显微镜性能	223
12.3.3 显微镜悬臂梁挠曲的测量	223
12.3.4 测量悬臂梁共振的原子力显微镜	225
12.4 静电力显微镜	226
12.5 扫描热显微镜	227
12.6 扫描近场光学显微镜	229
12.7 扫描探针显微术的发展机遇	230
参考文献	232
第 13 章 新质量标准	233
13.1 简介	233
13.2 基于普朗克常数的质量标准	237
13.2.1 功率天平标准	237
13.2.2 悬浮标准和静电标准	240
13.3 硅球标准	240
13.3.1 参考质量与阿伏加德罗常数	240
13.3.2 硅晶胞体积的测量	242
13.3.3 硅球体积的测量	243
13.4 离子累积标准	244
参考文献	246